

# ユーザの状況を考慮した触覚情報によるウェアラブル入出力支援システム

沖野 将司<sup>†</sup> 寺田 努<sup>††</sup> 塚本 昌彦<sup>††</sup> 義久 智樹<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>神戸大学大学院自然科学研究科 <sup>††</sup>神戸大学大学院工学研究科

<sup>†††</sup>大阪大学サイバーメディアセンター

コンピュータを常に身につけて利用するウェアラブルコンピューティングにおいて装着型ディスプレイを用いる場合、画面を注視し続けられないことが問題となる。筆者らはその解決策として、触覚で視覚を補助する触覚デスクトップをこれまでに提案した。触覚デスクトップは視覚と触覚のそれぞれに情報を提示することでウェアラブルコンピューティング環境においても使いやすいユーザインタフェースの構築を目指しているが、情報提示方式に関しては詳細な議論を行っていなかった。本稿では、触覚デスクトップの機能向上を目的として、触覚デスクトップの性能やユーザビリティに関して様々な面から調査を行う。また、調査結果を基に、触覚デスクトップに状況に応じた情報提示方式の切替を行う機構を導入し、周辺環境への動的な対応を実現する。

## A Wearable Input/Output Support System using Haptic Information Adapted to User's Situation

Masashi Okino<sup>†</sup>, Tsutomu Terada<sup>††</sup>, Masahiko Tsukamoto<sup>††</sup>, Tomoki Yoshihisa<sup>†††</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Science and Technology, Kobe University

<sup>††</sup>Graduate School of Engineering, Kobe University <sup>†††</sup>Cybermedia Center, Osaka University

In wearable computing environments where a user wears a wearable display such as HMD, it is difficult for the user to watch the display continuously. To solve this problem, we have proposed “Haptic Desktop” that enhances the PC desktop environments by haptic sense. Although this system outputs various information to visual devices and haptic devices considering the characteristics of wearable computing, the configuration of information presentation is not optimized. In this paper, we investigate the characteristics of haptic desktop from the viewpoints of the performance and the usability. Moreover, we propose a new mechanism of changing the information presenting method dynamically according to user context, based on the evaluation results.

### 1 はじめに

近年の計算機の小型・軽量化の進展に伴い、コンピュータを身につけて利用するウェアラブルコンピューティングの実現への期待が高まっている。ウェアラブルコンピューティング環境において大量情報を扱う際に最も問題となるのが、情報を一度に提示することが困難であるという点である。一般にウェアラブルコンピューティング環境ではヘッドマウントディスプレイ (HMD: Head Mounted Display) を用いるが、HMD は、視認性の悪さや注視の困難さから、従来のコンピュータ利用環境に比べて視覚から得られる情報量が少ない。そのため、視覚情報の提示方式の工夫や、聴覚や触覚との併用が必要となる。

筆者らは、ウェアラブルコンピューティング用のインタフェースとして触覚情報で視覚情報を補助する触覚デスクトップを提案した [1]。触覚デスクトップはアイコンやウィンドウのポインティングに応じて触覚情報をユーザにフィードバックし、視覚以外

の経路から情報を伝達できる。振動やモーション提示といった触覚情報の提示を制御するだけでなく、触覚提示部の操作による入力もサポートしている。

触覚デスクトップは視覚と触覚を組み合わせた汎用的なインタフェースを実現した。しかし、周辺環境の考慮やシステムの設定基準の設定に関しては不十分であった。高度な視覚と触覚の連携を実現するにはインタフェースの使用感や機器の特性について詳しく評価する必要がある。

本稿では、触覚提示装置による入力操作の操作性、動きによる文字情報提示の識別率、振動による触覚情報提示に関するユーザの情報認識分解能、様々な環境下における HMD の注視状況について調査する。さらに、調査結果を基に、振動パターンの設定基準についての検討と、注視状況に合わせて情報提示方式を変化させる手法の提案を行う。

### 2 触覚デスクトップ

人間は外界から情報を得る際に、五感のなかで視覚を最も多く利用している [2]。既存の PC 利用環



図 1: 2次元動作型触覚提示装置

境はディスプレイの常時閲覧を前提としており、大半の情報はディスプレイを介して提示される。そのため、GUIに代表される視覚インタフェースが主流となっている。

一方、ウェアラブルコンピューティングでは、歩行時や作業中といったディスプレイの注視が困難な状況でコンピュータを利用する。そのため、聴覚や触覚を活用したインタフェースが盛んに研究されている。これらのインタフェースはアイフリーのコンピュータ利用を可能にするが、一度に提示できる情報量が少ないというデメリットがある。また、従来のコンピュータ利用形態との乖離も問題となる。

筆者らはこれまで、上記の問題を解決するために、従来の視覚に基づくコンピュータインタフェースに触覚情報による補助を加えた「触覚デスクトップ」を提案した。即応性が要求される情報は触覚を、詳細な情報は視覚をそれぞれ利用することで得られる情報量と操作性の両立を図った。

触覚デスクトップは1章で述べたように触覚情報の提示に図1に示す2次元動作型触覚提示装置[3]を用いている。この装置は中央にある触覚提示部に指を乗せて使用し、触覚提示部が一定領域の2次元平面上を動くことで触覚を介した情報提示を実現している。2次元動作型触覚提示装置で表現できる触覚情報は振動やモーション動作などがあり、これらを組み合わせることで多彩な表現方法を実現している。現在実装している主な情報出力機能は以下の通りである。

- カーソルがアイコン上に置かれていることを通知
- アイコンの各種情報(アイコン名など)を提示
- カーソルがウィンドウフレームを超えたことを

#### 通知

- ボタンの位置提示

これらの機能において触覚情報の出力形態としては、

- 振動
- モーション動作
- ザラザラ感
- 動きによる文字提示

を実現している。

また、触覚提示部の現在位置を取得することでユーザによる触覚提示部の操作を検出することも可能となっている。

この触覚デスクトップを効果的にユーザに利用させるためには、その設定を行う際に以下に挙げる点を考慮する必要がある。

- 2次元動作型触覚提示装置の入力装置としての性能はどれほどか。
- 2次元動作による触覚情報をユーザはどの程度の分解能で識別できるか。
- どのタイミングでこういった形式の触覚情報提示を行うのが適切か。

2次元動作型触覚提示装置は振動モータや触知ピンなどの既存の装置とは異なり、触覚提示部が2次元平面上を動くことで触覚情報を表現する。その特徴として、表現の幅は広いが他の動きとの区別が付きにくいことと、触覚提示部を操作することが可能でそれにより入力を行えることが挙げられる。これを踏まえ、触覚デスクトップの設定を行うために、触覚提示装置を入力に用いる際の操作性と、どのような触覚情報がユーザにとって認識しやすいかについて調査する必要が生じた。

また、触覚デスクトップでは視覚情報を主に利用するため、触覚情報は要所での利用となる。ウェアラブル環境は周辺環境の変化が大きいので状況に応じて触覚情報の提示方式を変更することが望ましく、それには視覚情報の利用状況と連動する機構が必要となる。連動機構の実現には、周辺環境に対する視覚情報を利用できる度合いを把握しておく必要がある。

以下、3章で触覚提示部を用いての入力操作の操作速度の測定結果を、4章で動きによる文字出力と振動による触覚情報の認識率を、5章でウェアラブルコンピューティング環境における視覚情報の利用頻度の調査結果をそれぞれ述べる。

### 3 触覚提示部を用いた入力操作

触覚デスクトップに用いている2次元動作型触覚提示装置は2章でも述べたように入力装置としても利用できる。1つの装置で入力と出力の双方に対応するので、ユーザが出力に応じた入力をスムーズに行える利点がある。一方で、入出力が同じ場所で行われるため、入力と出力が互いに影響を及ぼしあうことを考慮しなくてはならない。

本稿では操作速度の測定を通じて2次元動作型触覚提示装置の入力装置としての性能を調査し、触覚提示装置による入力の長所と短所を明らかにする。

#### 3.1 入力操作速度の測定

触覚提示部を利用したポインティング機能について、操作速度を測定した。

実験は、被験者に入力装置を用いてアイコンを選択する操作を対象として実施した。被験者にはHMDを装着してもらい、入力装置を持って立ち止まった状態で測定した。そして、ランダムに出現するアイコンにポインタを合わせてクリックするという操作を20回成功させるまで行い、その際の所要時間とミス回数のデータを収集した。使用した入力装置は、触覚提示装置とジョイスティックの2種類で、この2つの比較をアイコンが大きい時と小さい時の2パターンで行った。実験後、収集したデータから、1つのアイコンを正しく選択する際の平均所要時間を算出した。

#### 3.2 実験結果と考察

実験結果を図2に示す。アイコンの所在をフィードバックする機能でポインタがアイコンに一致しているかを確認できる分、触覚提示装置の方が操作速度は早いと考えられたが、図2にあるように触覚提示装置はジョイスティックに対して若干ポインティングに時間が掛かるという結果が出た。この要因としては被験者の感想から操作性の悪さが挙げられる。触覚提示装置は入力と出力を同じ場所で行える利点があるが、入力判定が触覚提示部の位置を取ることによって実現されている都合上、出力による動きを入力操作と誤認識しないように入力操作の判定には一定の判定期間を設けている。これがレスポンスの悪さとなって表れて「ポインタの反応が悪い」という被験者の感想につながったと考えられる。しかし、早く反応させすぎると入出力の切り分けが正しく出来なくなってしまい誤認識を起こしてアイコンが勝手に動いてしまうので、バランスの取れるラインを今後見極めていく必要がある。また、触覚提示装置が持ちにくいという意見も多かったので装置

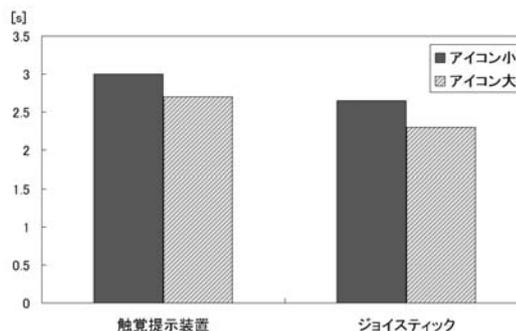


図2: ポインティング速度の比較結果



図3: アルファベットの触覚提示パターン

の形状についても議論が必要である。

### 4 触覚情報の提示

#### 4.1 動きによる文字情報の表現

触覚デスクトップは2次元動作型触覚提示装置を用いていることから、動きによる情報提示が可能である。この特徴を生かした情報提示方式として、動きによる文字情報提示を提案する。文字情報は2次元動作型触覚提示装置が一筆書きの動作を行うことで表現され、一筆書きのパターンはアルファベットと数字、記号についてはPalmOSに用いられる一筆書きの手法であるGraffiti[4]をアレンジした方式を、ひらがなは筆者らが考案した独自の方式をそれぞれ用いている。一筆書きのパターン一覧表を、図3および図4に示す。なお、漢字については読み仮名を取得してひらがなで提示する方式を取っている。

この方式で文字提示を行った時に、ユーザの文字認識率がどれほどになるか調査を行った。

##### 4.1.1 実験方法

実験は大学生9人を被験者として実施した。被験者には文字情報提示の方式を説明し、その後10分程度練習を行う。1文字を提示するテストを10回



図 4: ひらがなの触覚提示パターン

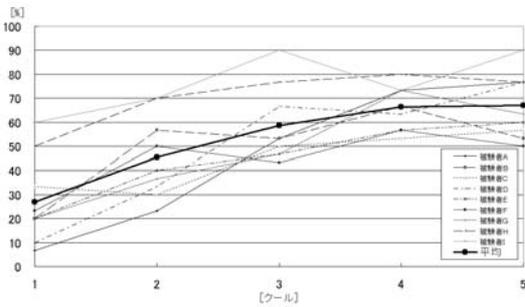


図 5: 触覚による文字提示の認識率

行い、これを 3 セット繰り返すまでを 1 クールとした。テスト 1 クールと 10 分間の練習を交互に 5 回繰り返し、各クールでの平均認識率を算出した。

実験はひらがなの提示で行い、文字の提示速度は 1 秒に 1 文字とした。

#### 4.1.2 実験結果と考察

実験結果のグラフを図 5 に示す。図に太線で示してあるグラフが平均値である。これを見ると短期間の学習で認識率が大幅に向上しているが第 4、第 5 クールで数値が収束している。最終的な認識率は 70 % 程度であり、文字のみによる情報提示は難しいことが分かる。更なる学習でいくらか数値は向上すると考えられるが、それ以上に動作パターンの見直しなどの根本的な変更が必要である。

また、被験者からは動作パターンを覚えるのが大変であると言う意見も聞かれたため、ひらがなの動作による提示をローマ字表記による提示に改めることで認識率の向上とユーザ負担の軽減を図ることも考えられる。

## 4.2 振動による触覚情報の表現

触覚デスクトップでは、触覚情報を 2 次元動作型触覚提示装置から出力している。提示装置には一定

範囲の 2 次元平面を移動できる触覚提示部が搭載されており、提示部に指を置くことで触覚情報が得られる。

触覚情報の内、振動情報は提示装置の平面的な反復動作によって表現される。この特性から、振動パターンは振動の周期、振動の強さ、振動の方向の 3 要素で決定される。これらのパラメータを変更することで異なる振動パターンを作り出すことができる。

振動パターンのパターン数はパラメータの組合せの数に依存する。パラメータの値は自由に決定できるので、理論上パターン数は無限である。しかし実運用上では、パラメータの変化が小さすぎると異なるパターンとして認識できないため、認識可能な範囲で多くのパターン数を実現することが重要となる。

### 4.2.1 振動パターンの認識分解能の測定

4.2 節で述べたように、振動パターンを適切に設定するためには、パラメータの値をどれだけ変化させれば異なるパターンとして認識できるかを調査する必要がある。そこで本稿では、2 次元動作型触覚提示装置における振動パターンの識別に関する実験を行い、ある基準値からどの程度値を変化させれば異なる振動パターンとして認識できるのかを調査した。調査は振動パターンを決定付ける周期・強度・方向のそれぞれの要素において行った。

### 4.2.2 実験方法

実験は大学生 10 人を被験者として実施した。被験者には、触覚デスクトップを用いて振動パターンを関連付けた基準アイコンとターゲットアイコンをそれぞれポインティングしてもらい、ポインティングした際に起きる触覚提示部の振動を比較してもらった。ターゲットアイコンには毎回異なる振動パターンを割り当てており、その値は基準アイコンを基に周期・強度・方向のいずれかを变化させる形で決定している。実験はターゲットアイコン 16 個を 1 セットとして 1 セットごとに基準アイコンの振動パターンを変更し、10 セット実施した。また、振動パターンの比較は、どのアイコンが基準アイコンと異なる振動パターンで動作したかを答えてもらう形で行い、どう違うかまでを答えさせていない。

変化させる振動の周期や強度の値に関しては、予備実験の結果から、周期は 20ms から 600ms の範囲内で、強度は強度レベル 4 から 30 の範囲内でそれぞれ変化させた。方向についても、上下、左右、斜め 2 パターンの計 4 パターンとした。

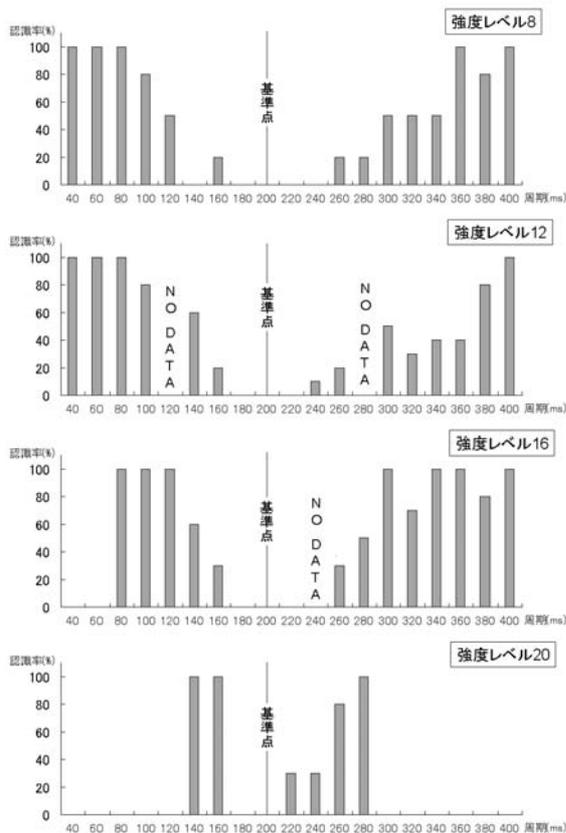


図 6: 強度別の振動周期の違いの判別状況

#### 4.2.3 実験結果と考察

実験結果を振動の周期，振動の強度，振動の方向の各要素ごとに述べる．

始めに，周期に関する分解能について述べる．実験のデータのうち，200ms の周期を基準として周期を変化させたときの識別結果を図 6 に示す．結果は，振動の強度ごとに 4 種類を示す．

図 6 より，識別可能な周期の差は，基準に対する比に比例することを確認した．これは，人間の感覚特性に関する過去の知見 [5] から明らかであるが，本稿ではさらにその比例係数が振動の強度に比例することも明らかになった．強い振動であるほど，周期の間隔を縮めても識別が可能であるといえる．ただし振動の強さ自体に上限下限があるので，周期の感覚は一定以上縮められないと考えられる．

次に強度に関する分解能について述べる．強度に関しては被験者間の認識率のバラつきが大きく，一定の傾向を見出すことはできなかった．したがって，強度のパラメータのみを変化させて異なる振動パターンを生成することは難しいと考えられる．

最後に方向に関する分解能について述べる．方向の違いの識別率は，強度を上げて周期を長くするこ

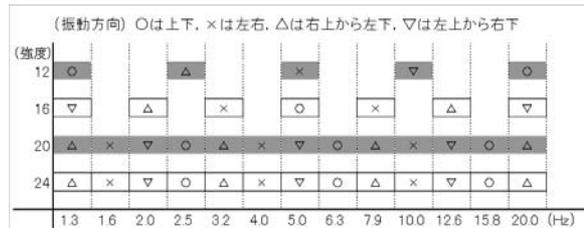


図 7: 振動パターンの設定例

とで向上した．しかし，強度レベルを 30，周期を 600ms と設定範囲上限に近い値に設定しても識別率が 40 %であったため，方向の変化を振動パターンの識別に用いることは難しい．

ここで周期と強度の間に依存関係があるという結果から，方向と他の 2 要素との間にも依存関係があると考え，上記の実験において方向の変化を加えてやると，識別率が 80 %であった設定パターンの大半で識別率が 100 %に向上した．このことから方向の変化は補助的に用いるのが良いと考えられる．

#### 4.3 振動パターンの設定事例

4.2.3 節の実験結果から振動パターンの設定方法に関するいくつかのルールが見つかった．ここではそれを踏まえた識別可能な振動パターンの設定例を図 7 に示す．塗りつぶしの有無で示した 2 通りの設定例があり，それぞれ 18 パターンと 20 パターンの振動パターンを設定することができる．いずれのパターンも振動の方向を順に変化させて識別率の向上を図った．

### 5 ディスプレイ注視状況の測定

触覚デスクトップの構築にあたっては，どのタイミングでどのような情報を触覚情報で提示するかという視覚と触覚の情報提示の適切なバランスを決定することが必要である．そこで本章では視覚情報を利用しづらい状況を明らかにするために，ウェアラブル環境下での HMD の注視状況を測定した．

#### 5.1 注視状況の検出方法

HMD の注視状況を測定するためには，視線の動きを取る装置が必要となる．視線の動きを取得する方式には代表的なものとして，目をカメラで撮影して画像処理によって眼球運動を測定する方式 [6][7] や，EOG (眼電位図) を用いて眼球運動を検出する方式 [8] がある．本章では視線計測装置に，Applied Science Laboratories の Mobile Eye[9] を使用した．この装置は画像処理型の視線計測装置で，眼球撮影用の超小型カメラと外界撮影用の超小型カメラが一

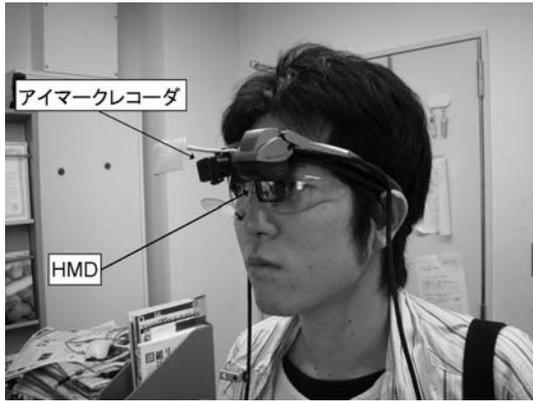


図 8: HMD と視線計測装置の装着図

体となった構造となっている。眼球の動きはカメラで目の黒目の部分を検出することによって追跡し、外界の映像と眼球の動きを合成して装着者がどこを見ているのか観測することが可能である。実環境下での視線の動きを追跡する用途を想定して携帯性重視の設計が行われているため、ウェアラブル環境における注視状況取得に適している。

## 5.2 実験方法

実験は、図 8 に示すように被験者に HMD および視線計測装置を装着させ、様々な環境下で HMD の注視が必要なタスクを行わせた。その際の目の動きを視線計測装置を用いて記録することで、HMD の注視状況を分析した。

今回は実験装置装着の都合上、左目で HMD を見て、視線計測装置で右目の動きを取る方式で実験を行った。左右の目は連動して動作しているものと仮定でき、視線計測装置のデータを解析することで、HMD を注視しているかどうか判断できる。実験開始時に HMD を見ている時の目の動きのデータを被験者ごとに取得しておき、それを基準に HMD を見ている時と見ていない時を切り分けた。

実験はランダムに移動するアイコンの追跡を行うタスクを以下の環境下で実施し、注視状況データを収集した。

- すれ違う人がいない廊下での歩行中
- 頻繁に人とすれ違う廊下での歩行中
- 階段の上り下り

## 5.3 実験結果と考察

実験結果を図 9 に示す。実験結果から得られた視線の推移状況の例を図 10, 11 に示す。

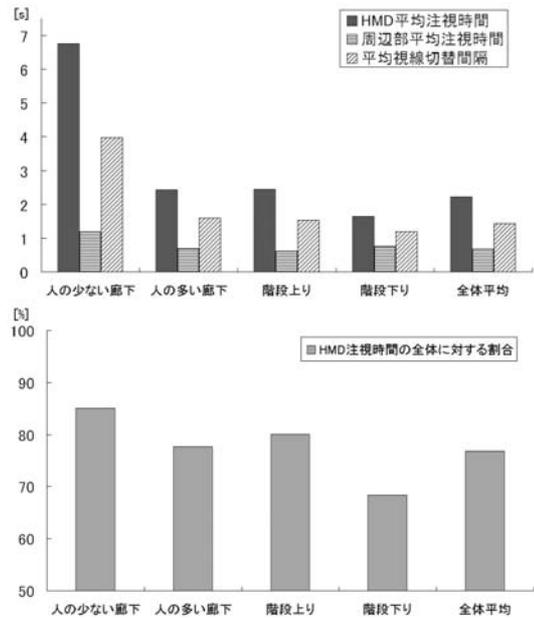


図 9: HMD の注視状況

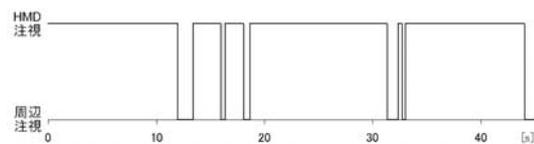


図 10: 人の少ない廊下での視線の推移

図 9 より、注視する時間の割合は、人の少ない廊下では約 85 % であるが、階段を下る状況下では約 68 % に低下している。また、視線切替間隔は人の少ない廊下に比べ他の環境下では短くなっている。このことから、利用環境によって HMD を注視するための負荷が異なり、特に階段を下りる場面では視覚情報を利用しづらいと考えられる。

ほかにも、取得したデータを解析することで、体の動きに変化があるときには視線がディスプレイから逸れやすい傾向が見られた。特に首を動かすときと体の向きを変えるときにその傾向が顕著に見られる。これは首を動かす動作や体の向きを変える動作には視界の変化が連動して起こるため、視線がたづなれて動いてしまうことが理由であると考えられる。

以上から、ユーザが HMD を利用している環境と HMD の注視状況の間には相関関係があると言える。このことから、HMD の注視状況からユーザの置かれている利用環境を推測することや、逆にユーザの利用環境に応じて HMD の情報提示方式を変化させることでユーザの利便性の向上を図ることは有用性があると考えられる。

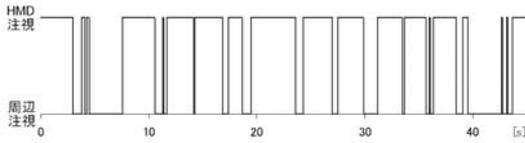


図 11: 階段下りでの視線の推移

## 6 周辺環境を考慮した触覚情報提示

ここではこれまでに得られた結果を基に周辺環境を考慮した情報提示手法とその設定基準について提案を行う。2章で述べた触覚デスクトップと、ユーザの利用状況を認識する機構を融合させることで目標とする情報提示手法を実現する。

### 6.1 状況認識方法

5.3節の結果から、ユーザの画面注視状況に応じて触覚による情報支援の度合を変える機構は有用性が高いと考えられる。この機構を実現するためにはユーザのHMD注視状況をリアルタイムに取得する必要がある。注視状況の認識方法としては、5章の実験で用いた視線計測装置を利用することが考えられる。しかし、視線計測装置の視線検出精度は個人差が大きく、眼鏡を掛けては使えないなどの制約事項も多い。さらに5章の実験において、歩いたりすることで装置がずれて視線検知の基準点が狂うことが多発するという知見も得ている。これは、視線計測装置が黒目の位置を取得することで目の動きを検出する構造であるために起きる問題であり、ハードウェアの制約が原因であることから解決は困難である。

そこで別の方法として、人の動作状態によって情報提示方法を変化させる方式を提案する。これは5.3節の考察から、予め注視状況と人の動作状態との対応関係が取れていれば人の動作状態によって間接的に注視状況を把握することが出来る点に着目し、擬似的に注視状況に応じた情報提示を実現する方式である。人の動作状態の認識には装着型加速度センサを用いて、認識結果に応じて触覚情報の提示情報を変化させることとした。

加速度センサから得られる情報を基に状況認識を行う機構にはWearable Toolkit[10]を用いた。Wearable Toolkitはウェアラブル環境における様々なコンテキストの取得を目的に作られており、多種のセンサを利用することが出来るが、本稿ではシステムの簡易化のため加速度センサのみを用いて状況認識を行う。認識結果は触覚デスクトップに送られ、それを基に触覚デスクトップは触覚情報を制御

表 1: 触覚提示装置の制御パターンの例

想定環境	静止	人が少ない状況での歩行	人が多い状況での歩行	階段の上り下り
アイコン上での動き	停止	振動(弱)	文字情報提示	振動(強)
ウィンドウフレームを通過したときの動き	停止	振動(弱)	振動(弱)	振動(強)
ウィンドウボタン上の動き	停止	モーションによる提示	モーションによる提示	振動

する。

### 6.2 状況に応じた触覚情報提示の実現

6.1節の提案をもとに触覚デスクトップを拡張してユーザの利用状況に応じた触覚情報提示を実現するシステムの実装を行なった。

システムには予め、状況ごとの触覚情報提示手法をデータテーブルとして設定しておき、Wearable Toolkitの状況認識結果に応じて触覚情報提示のパターンを遷移させ、触覚提示装置の制御に反映させる。基本的に、視覚が使いやすいと考えられる状況では触覚提示を少なくし、逆にHMDを注視できない状況ではより細かい情報まで触覚で提示するという方針で設定を行なっている。その設定の一例を表1に示す。

この際、各項目での細かな設定には4章の結果を反映させている。例えば、表1において、人が少ない状況下での歩行中に、アイコンにカーソルを合わせた時の触覚情報提示形式は振動となっているが、この時の振動パターンは図7に示したパターンをアイコンごとに順に割り振っており、アイコンの違いを識別しやすくしている。

## 7 まとめ

本稿では触覚デスクトップの機能を様々な面から評価した。まず、2次元動作型触覚提示装置による入力操作の操作速度を他のポインティングデバイスと比較した。次に、2次元動作型触覚提示装置を用いた文字情報提示の認識率を測定し、現状の提案方式では識別率に限界があることを確認した。さらに、2次元動作型触覚提示装置を用いた振動による情報提示の特性を調査し、識別可能な振動パターンと振動の各要素との関連性を確認した。最後に、ウェアラブルコンピューティング環境においてHMDの注視状況を測定することで、ユーザの状況によって視覚による情報提示の有効性が変化することを確認した。

本稿では、これらの評価結果を基にユーザの利用

状況に応じて触覚情報提示の方式を動的に変化させるシステムの提案を行ない、触覚デスクトップを拡張する形でその実装を行なった。

今後の課題としては、今回実装したシステムの評価と、より多くの利用環境下で触覚デスクトップの性能評価を行なうことが挙げられる。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金・特定領域研究「情報爆発のための装着型入出力デバイスを用いた情報操作方式」(19024056)によるものである。ここに記して、謝意を表す。また、本研究を進めるに当たり、触覚提示装置を貸与いただいた富士ゼロックス株式会社技術開発本部の関係者の皆様に深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] 沖野 将司, 塚本 昌彦, 義久 智樹: ウェアラブルコンピューティングのための触覚情報を用いた入出力支援システム, 情報処理学会研究報告 (ヒューマンインタフェース研究会 2007-HI-122・音声言語情報処理研究会 2007-SLP-65 合同研究会), pp.85-90, 2007.
- [2] 村田昭光: 「人間工学 上」, 日本出版サービス, pp.149-151, 1988.
- [3] 坂巻 克己: 2次元リニアアクチュエータを用いた触覚呈示システム, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.1, No.5, pp.83-86, 1999.
- [4] Ways to Enter Data into a Palm Device, <http://www.palm.com/us/products/input/>.
- [5] 小俣 昌樹, 公彦 脚, 今宮 淳美: 感覚特性に基づいた反力と振動による風の可触化モデルの評価, 電子情報通信学会論文誌. D, 情報・システム, Vol.89, No.10, pp.2155-2160, 2006.
- [6] T. Jebara, B. Schiele, N. Oliver, A. Pentland: DyPERS: Dynamic Personal Enhanced Reality System, M.I.T. Media Lab. Perceptual Computing Section Technical Report, No.468, 1998.
- [7] 堀泰浩, 吉高淳夫: 眼球運動に基づく動的フレームレートでの視覚情報の獲得, 情報処理学会研究報告, 107 (2), pp.9-16, 2004.
- [8] 久野 悦章, 八木 透, 藤井 一幸, 古賀 一男, 内川 嘉樹: EOGを用いた視線入力インタフェースの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1455-1462, 1998.
- [9] ASL Mobile Eye, <http://www.a-s-l.com/products/mobileeye.htm>.
- [10] 寺田 努, 宮前雅一: その場プログラミングの実現に向けて, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究会 2007-UBI-14), Vol. 2007, No.46, pp.1-8, 2007.